Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 321-331

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۳۳۱-۳۲۱

# مقایسه شاخص پوشش گیاهی نرمال سیب‌زمینی بین سبزینه‌سنج و ماهواره لندست

حسنی محمدی منور[۱*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳

## چکیده

تغییرات زیاد میزان نیتروژن خاک مزارع کاربرد مفید کود ازت را محدود می‌کند. مدیریت خلاقانه کود باید به‌گونه‌ای باشد تا از اثرات مخرب کوددهی زیاد جلوگیری کند و همچنین بتواند بازدهی مزرعه را افزایش دهد. استفاده کمتر یا بیشتر از ازت بر روی کیفیت غده سیب‌زمینی مؤثر است. هدف استفاده از حسگر سبزینه‌سنج (GS) و تصاویر ماهواره‌ای در یک مزرعه تجاری سیب‌زمینی رقم مارفونا واقع در شهرستان بهار استان همدان، قابلیت به‌کارگیری این حسگرها و امکان جایگزینی آن نسبت به روش‌های متداول بود و همچنین با استفاده از طیف‌سنجی برگ، میزان شاخص پوشش گیاهی نرمال (NDVI) مطابق طول موج حسگر GS محاسبه شد. اندازه‌گیری با سبزینه‌سنج هر هشت روز در هر متر مربع ثبت گردید. در طول دوره رشد تا برداشت دوبار از تصاویر ماهواره لندست ۸ (OLI) استفاده شد. ضریب تبیین عملکرد فصلی (INSEY) و داده‌های هواشناسی با مقدار NDVI بررسی شده در مدل رگرسیونی بردار پشتیبان (SVR) به‌ترتیب ۰/۹۴۷ و ۰/۹۶۴ توسط سبزینه‌سنج و ۰/۹۴۷ و ۰/۹۹۷ توسط تصویر لندست پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که NDVI محاسبه شده توسط GS (۰/۹۴) با دقت بیشتری نسبت به تصاویر OLI (۰/۸۱) توسط طیف‌سنجی تأیید شد که علت آن را می‌توان به تغییرات جوی مربوط دانست. لذا سبزینه‌سنج به‌طور دقیق و مؤثر می‌تواند در مزارع برای مدیریت کود ازت به‌کار گرفته شود.

**واژه های کلیدی**: تصاویر ماهواره‌ای، سبزینه‌سنج، شاخص پوشش گیاهی نرمال

## مقدمه

مدیریت مزرعه بخشی از کشاورزی دقیق است که می‌تواند تأثیر محیطی و اقتصادی مثبتی بر روی کیفیت تولید گیاهان در مزرعه داشته باشد. پایشگر لحظه‌ای عملکرد سیب‌زمینی نمونه‌ای از کاربرد کشاورزی دقیق می‌باشد (MohammadZamani *et al*., 2014). تصمیم درباره میزان کود ازت مورد نیاز بستگی به فاکتورهای خاک، شرایط اقلیمی و الگوی رشد گیاه دارد. مقدار بهینه ازت از یک مزرعه به مزرعه دیگر در طول یک مزرعه متفاوت است (Kitchen *et al*., 2010). تفاوت در محتوای نیتروژن گیاه در طول سال‌های کشت معمولا به علت تغییرات اقلیمی می‌باشد در حالی‌که تفاوت در محتوای نیتروژن گیاه در یک مزرعه را به تفاوت در شرایط خاک مربوط دانسته‌اند (Olfs, 2009). به علت تغییرات در متغیرهای خاک که سبب توزیع نایکنواخت مواد معدنی و کمبود نیتروژن می‌گردند کوددهی ازت انجام می‌شود (Schepers and Shanahan, 2009).

به‌منظور افزایش محصول، غده‌های سیب‌زمینی باید شکل و اندازه یکنواخت داشته باشند و آسیب‌های ظاهری و داخلی آنها به حداقل برسد که با مدیریت مصرف بهینه کود ازت، قابل دستیابی است (Stark and Brown, 2003). تکنولوژی‌های نوین اخیر (حسگرهای نوری و از راه دور) عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی را افزایش داده‌اند. میزان کلروفیل به موارد مختلفی وابسته است که در این میان تغییرات ازت برگ‌ها تعیین‌کننده هستند. حسگر سبزینه‌سنج (Greenseeker, Trimble Industry, USA) زردی برگ را به‌عنوان کمبود ازت تفسیر می‌کند و سپس مقدار کود مناسب را با توجه با مقدار NDVI پیشنهاد می‌نماید. تحقیقات بسیاری در استفاده از این حسگر در گیاهان گندم، برنج، جو، ذرت و سیب‌زمینی انجام شده است (Raun *et al*., 2002; Tremblay *et al*., 2011; Samborski *et al*., 2016). در میان شاخص‌های مختلف گیاهی، NDVI بیشتر برای پایش سبزینگی در بسیاری از تحقیقات پیشین به‌کار رفته است (Cheret and Denux, 2011; Im *et al*., 2012; Meng *et al*., 2013; Yuan *et al*., 2014). این شاخص از بازتاب در باند قرمز و فروسرخ محاسبه می‌شود (رابطه ۱). در باند قرمز جذب کلروفیل و در باند فروسرخ بازتابش سبزینگی رخ می‌دهد که می‌تواند میزان تجمع ازت در گیاه را پیش‌بینی کند. با توجه با اینکه NDVI بر روی

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v8i2.64486

فاکتورهـای بسـیاری ماننـد تجمـع بیـومس، رشـد گیـاه، خـواص فیزیکی- شیمیایی و بیولوژیکی خاک مؤثر است پس می‌تـوان GS را ابزاری مناسب برای پایش تمامی این فاکتورها در نظر گرفت. از طرف دیگر چون دقت GS تحت تأثیر میزان نور، تغییرات دما یـا وزش بـاد قرار نمی‌گیرد NDVI خوانده شـده کـاملاً قابـل اعتمـاد اسـت. ایـن شاخص به‌طور غیرمستقیم با سلامت خـاک رابطـه دارد زیـرا تجمـع زیست‌توده، استرس‌های ناشی از کمبود مـواد مغـذی و بیمـاری‌هـای گیاهی را بازتاب می‌دهد. به همین علـت GS را وسیله انـدازه‌گیـری غیرمستقیم فاکتورهایی pH, EC, N, P, K و OC می‌دانند.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (۱)$$

که در آن NIR و Red بـه‌ترتیـب بازتـاب طـول مـوج فروسـرخ نزدیک و قرمز هستند.

در دهه‌های اخیر افزایش تعـداد حسـگرهای مـاهواره‌ای فرصـت مناسبی را برای اسـتخراج NDVI در مقیـاس‌هـای زمـانی و مکـانی مختلف و همچنین کاربرد همزمان چندین مـاهواره فـراهم مـی‌سـازد (Hong *et al*., 2009; Ke *et al*., 2015). اگرچه مشکلاتی هـم در استفاده همزمان از چند حسـگر مـاهواره‌ای وجـود دارد کـه بـه علـت تفاوت در شرایط جوی زمان پیمایش، باندهای طیفی، عملکرد سامانه و زمان تصویربرداری به‌وجود می‌آینـد (Hadjimitsis *et al*., 2010). تفاوت در طول موج طیفی ماهواره‌ها به تنهایی سبب ۱۰٪ تفـاوت در NDVI می‌شود (Teillet and Ren, 2008). این بی‌ثباتی سبب عدم اعتماد به پاسخ‌های حسگرهای ماهواره‌ای می‌گردد. لذا پژوهش‌هـای پیشین با مقایسه همزمان چند ماهواره صـحت ایـن موضـوع و دقـت NDVI مشـاهده شـده را بررسـی نمودنـد (Feng *et al*., 2012; Maiersperger *et al*., 2013; Ke *et al*., 2015). ماهواره لندسـت ۸ آخرین ماهواره خانواده لندست است و در فوریه ۲۰۱۳ پرتـاپ شـده است. به این ماهواره دو حسگر تصویرسـاز زمـین عملیـاتی[1] (OLI) و حسگر فروسرخ گرمایی[2] (TIRS) و دو باند طیفی جدیـد (بانـد مرئـی آبی عمیق[3] در ۴۳۰-۴۵۰ nm و باند فروسرخ کوتاه[4] در ۱۳۶۰-۱۳۹۰ nm) اضافه شده است که تـوان عملیـاتی و دقـت آن را نسـبت بـه سایر ماهواره‌های این خانواده می‌افزاید. تصاویر چندطیفی مـاهواره‌هـا در تخمین پوشش بقایای گیاهی و شدت خـاکورزی بـا دقـت بـالایی بسیار نزدیـک بـه مشـاهدات زمینـی مـی‌باشـند (Rostami *et al*., 2014). Li و همکـاران (۲۰۱۴) شـاخص سـبزینگی را در تصـاویر ماهواره‌های لندست ۸ (OLI) و لندست ۷ (ETM+) مقایسه کردنـد و به پایداری بالایی ($R^2$>0.99) رسیدند. از آنجا کـه وضـعیت نیتـروژن بیشترین تأثیر را روی خصوصیات کیفی محصول دارد، هـدف از ایـن تحقیق بررسی دقت عملکـرد سـبزینه‌سـنج در تشـخیص NDVI در طول دوره رشد سیب‌زمینی و یافتن رابطه آن با مقدار اندازه‌گیری شده در تصویر حسگر OLI است.

1- Operational Land Imager
2- Thermal Infrared Sensor
3- Deep Blue Visible Band
4- Shortwave Infrared Band

## مواد و روش‌ها

### مزرعه مورد مطالعه

مزرعه تجاری سیب‌زمینی رقم مارفونا بـه وسـعت سـه هکتـار در شهرستان بهار استان همدان به‌ترتیب بـا طـول و عـرض جغرافیـایی °۴۸'۴۵ شرقی و °۹۵'۳۴ شمالی واقع است. سیب‌زمینی در روزهـای ابتدای اسفند ۹۴ کشت شد و بعد از رشد اولین برگ‌ها در کل مزرعه، آزمایش آغاز گردید. زمین در طول زمستان به‌صورت آیش رهـا شـده بود و پیش از کاشت، خاک سطحی توسط دیسک زیر و رو شد. برخی فاکتورهای خاک در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی استخراج (جدول ۱) و بافت خـاک در ۷۵ سـانتی‌متـر سـطحی لومی شنی گزارش شد. نمونه‌برداری از برگ سیب‌زمینـی در هـر متـر مربع با سبزینه‌سنج انجام شد. سبزینه‌سنج در فاصله ۶۰ سـانتی‌متـری بالای گیاه قرار گرفت و میانگین سه بـار داده‌بـرداری معـرف NDVI گیاه بود. هر هشت روز یکبار اندازه‌گیری از کل مزرعه انجام شـد. بـا توجه با اینکه ماهواره لندست ۸ هـر ۱۶ روز داده‌بـرداری مـی‌کنـد دو تصویر همزمان با داده سـبزینه‌سـنج در دوره خاکـدهی پـای بوتـه[5] و وقتی بوته به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متـری رسـید، برداشـت شـد. جـدول ۲ تاریخ برداشت تصاویر و داده‌های NDVI را نشان می‌دهـد. در زمـان کاشت همراه با آبیاری کود مرغـی خشـک بـا محتـوی ۴/۵٪ ازت در بخشی از خاک (ضلع جنوب غربی مزرعه) که کمبود نیتروژن داشـت، توزیع گردید. به این ترتیب NDVI اندازه‌گیـری شـده توسـط GS در کل مزرعه یکنواخت شد.

### تغییرات جوی

استان همدان منطقه‌ای مرتفع و کوهستانی اسـت و دشـت‌هـای وسیع منطقه شرقی و شمال شرقی استان را در مسیر بادهـای شـدید قرار می‌دهد. به گزارش ایستگاه سینوپتیک بهار حداکثر مطلـق درجـه حرارت هـوا ۳۶/۸ و حـداقل مطلـق آن۲۹/۶- و متوسـط حـرارت آن ۹/۶ °C است. در این استان ۱۰۰ -۱۴۳ روز یخبنـدان اسـت کـه در زمستان و گاهی فروردین است. جدول۳ داده‌های هواشناسی (حـداکثر و حداقل دما، سرعت وزش بـاد و بارنـدگی ماهانـه) منطقـه را نشـان می‌دهد که ایستگاه هواشناسی آن در فاصـله ۴/۵ کیلـومتری مزرعـه مورد مطالعه قرار دارد. از آنجا که تغییرات جـوی از عوامـل مـؤثر بـر

5- Hilling Stage

عملکرد محصول می‌باشد با مدل رگرسیونی آنها میزان NDVI پیش‌بینی گردید. شاخص NDVI کلید ورودی در مدل‌های زیست‌محیطی به دلیل ارتباط آن با فتوسنتز، تعرق، چرخه تعامل کربن و مواد مغذی و بارندگی است (Deng *et al.*, 2006). جذب تابش، تبدیل انرژی، حرکت و تبادل گازها به‌طور قابل ملاحظه‌ای به‌وسیله NDVI مشخص می‌شود که به‌طور معمول برای کنترل فرآیند رشد گیاه به‌کار می‌رود.

**جدول ۱**- برخی خواص شیمیایی خاک

**Table 1**- Some chemical properties of soil

| فاکتورهای خاک<br>**Soil features** | کربن آلی (٪)<br>**Organic carbon** | نیتروژن<br>**($mg.kg^{-1}$)**<br>**Nitrogen** | پتاسیم<br>**($mg.kg^{-1}$)**<br>**Potassium** | فسفر<br>**($mg.kg^{-1}$)**<br>**Phosphor** |
|---|---|---|---|---|
| متوسط ۱۵ نمونه تصادفی<br>Average of 15 random samples | 1.2 | 0.14 | 23.5 | 1.5 |

**جدول ۲**- تاریخ اندازه‌گیری توسط GS و OLI

**Table 2**- Measurment Dates by GS and OLI

| مراحل رشد<br>**Growth Stage** | کاشت<br>**Planting** | جوانه زدن<br>**Emergence** | خاکدهی پایه بوته<br>**Post-Hilling** | ساقه به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر<br>**30cm stem height** | | ساقه به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر<br>**50cm stem height** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تاریخ رشد<br>Growth date | 2017.02.25 | 2017.05.02 | 2017.05.31 | 2017.06.16 | | 2017.07.06 | |
| زمان داده‌برداری<br>Measurement Dates | GS | 2017.05.07 | 2017.05.15 | 2017.05.23 | 2017.05.31 | 2017.06.08 | 2017.06.16 |
| | OLI | - | - | - | 2017.05.31 | - | 2017.06.16 |

**جدول ۳**- داده‌های هواشناسی ایستگاه بهار در ماه‌های رشد

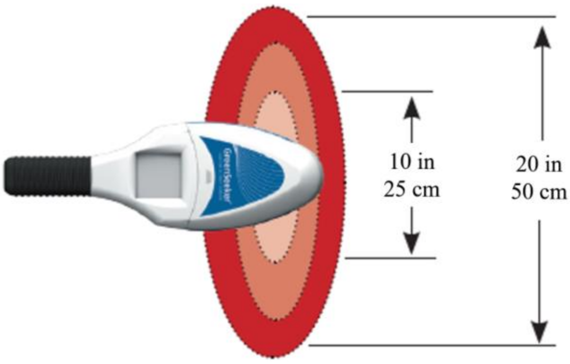
**Table 3**- Meteorological data in the growth months of Bahar station

| | فروردین<br>**March-April** | اردیبهشت<br>**April-may** | خرداد<br>**May-June** | تیر<br>**June-July** |
|---|---|---|---|---|
| دمای کمینه<br>T-min | -4.9 | -0.7 | 3.5 | 3.11 |
| دمای بیشینه<br>T-max | 8.18 | 9.30 | 3.33 | 7.38 |
| دمای متوسط<br>T-Average | 3.8 | 1.15 | 7.18 | 2.25 |
| رطوبت نسبی<br>Relative humidity | 60 | 54 | 33 | 26 |
| بارش ماهانه<br>Precipitation (mm) | 3.96 | 6.20 | 8.10 | 0.0 |
| سرعت وزش باد<br>Wind velocity ($m\ s^{-1}$) | 15 | 11 | 10 | 15 |

## سبزینه‌سنج و اسپکترومتر

سبزینه‌سنج ابزاری دقیق برای اندازه‌گیری غیرمخرب و سریع شاخص پوشش گیاهی در طول دوره رشد و مدیریت مصرف کود نیتروژن است. محدوده اندازه‌گیری سبزینه‌سنج ۶۶۰±۱۵ nm در باند قرمز و ۷۷۰±۱۵ nm در باند فروسرخ می‌باشد. نور از دیودها به‌صورت متناوب در طول زمان‌های مختلف ساطع می‌گردد. دیود قرمز و سپس فروسرخ هر کدام به مدت یک میلی‌ثانیه در فرکانس ۴۰۰۰۰ هرتز پالس می‌دهند. هر دیود ۴۰ پالس پی‌درپی، پیش از توقف ساطع می‌کند. منطقه اندازه‌گیری با ۶۰ سانتی‌متر قطر در حالی‌که دستگاه عمود بر زمین قرار گرفته، روشن می‌شود. همچنین

این حسگر به دلیل متوسط‌گیری از امواج برگشتی از یک سطح بیضی (شکل ۱) با مقدار تراکم بوته در واحد سطح هم رابطه مستقیم داشته و با تغییرات حجم سبزینگی این شاخص نیز تغییر می‌کند. از آنجا که بسیاری از زمین‌های کشاورزی دور از شهرها واقع هستند و امکان بررسی آزمایشگاهی برای تشخیص NDVI در هر مرحله از رشد گیاه وجود ندارد، لذا کشاورزان به‌طور معمول چندین بار کوددهی را انجام می‌دهند که اثرات آن در گیاه باقی می‌ماند یا در حالت بارزتر سبب از بین رفتن گیاه و خسارت به کشاورز می‌گردد. از طرف دیگر آگاهی از میزان شرایط خاک ضروری است تا بتوان قبل از کاشت آماده‌سازی زمین را انجام داد. برای آسان نمودن سنجش عامل‌های سیب‌زمینی، برگ در دو زمان از دوره رشد (سه برگی و حجیم شدن غده) توسط طیف‌سنج (AvaSpec-ULS 2048- UV-VIS) بررسی و NDVI از طیف استخراج گردید.




**شکل ۱-** سطح اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگر GreenSeeker (وقتی در ارتفاع ۶۰ cm و ۱۲۰ cm بالای گیاه قرار می‌گیرد به‌ترتیب بیضی‌هایی به قطر ۲۵ cm و ۵۰ cm را پوشش می‌دهد)

**Fig.1.** The field of view that measured by GreenSeeker sensor (approximately cover 25cm and 50cm oval diameter wide at 60cm and 120cm above the ground, respectively)

### تصحیح تصاویر ماهواره لندست

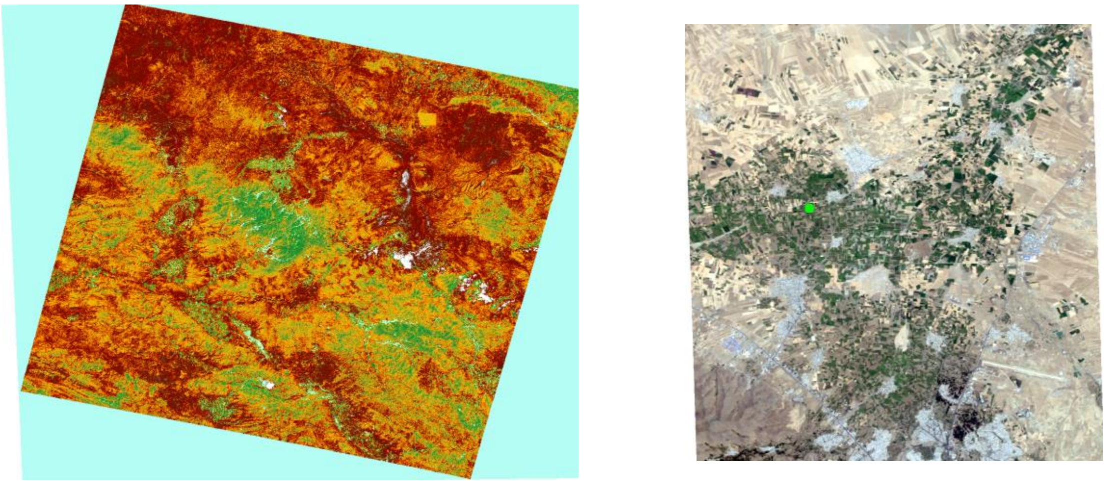
داده‌های حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای که به زمین مخابره می‌شوند و به‌عنوان داده‌های خام معروف هستند دارای خطاهای زیادی می‌باشند. این خطاها می‌توانند ناشی از سکو (تغییر ارتفاع مدار و عدم تعادل)، سنجنده (پدیده پانوراما، نابرابری ضرایب تنظیم آشکارسازها) و محیط (کرویت و پستی و بلندی‌های زمین، چرخش زمین، اثرات اتمسفر) باشند. هرچند که تصاویر ماهواره‌ای پس از دریافت از ماهواره در ایستگاه‌های گیرنده زمینی مورد تصحیحات اولیه (سامانه‌ای) قرار می‌گیرند، اما همچنان دارای خطاهایی نظیر خطای جابه‌جایی ناشی از پستی و بلندی هستند، ضمن آنکه فاقد مختصات نیز می‌باشند و هیچ‌گونه تصحیح هندسی بر روی عکس‌های هوایی انجام نمی‌گیرد لذا هر نوع این داده‌ها قبل از اینکه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند، باید مورد تصحیحات هندسی تکمیلی قرار گیرند و به لحاظ مختصات با یک مبنای استاندارد که معمولا نقشه‌های توپوگرافی در نظر گرفته می‌شوند، مطابقت داده شوند. اعداد دیجیتال تصاویر بر اساس ضرایب کالیبراسیون و معادلات اصلاح استاندارد، به بازتاب سطح اتمسفری [1] تبدیل می‌شوند. همچنین سیستم پردازش تطبیقی اختلال سازمان زمین‌شناسی آمریکا[2] برای انجام تصحیحات اتمسفری در دسترس می‌باشد. به‌طور کلی دو عامل مهم در اتمسفر بر روی تصاویر اثر می‌گذارد: خطای جذب و خطای پخش که دو روش تصحیح اتمسفری مطلق و نسبی برای اصلاح آن‌ها وجود دارد. داده‌های ماهواره‌ای را نیز می‌توان به یکی از روش‌های استفاده از نقاط کنترل زمینی، استفاده از پارامترهای مداری ماهواره‌ای و همبستگی مورد تصحیح هندسی قرار داد و با یک مبنا مطابقت داد. مبنا می‌تواند یک تصویر و یا یک نقشه باشد. در صورتی که مبنا یک تصویر باشد، تصحیح از نوع تصویر به تصویر و اگر مبنا نقشه باشد، تصحیح از نوع تصویر به نقشه خواهد بود. از طرف دیگر روش‌های تصحیح اتمسفری برای رهایی از اثرات تابش و اثرات جوی به‌کار رفت تا دقت NDVI استخراج شده از تصاویر افزایش یابد. تصحیح اتمسفری به روش کسر شئ تیره[3] (Chavez, 1988) و الگوریتم FLAASH[4] بر روی تصاویر در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. پس از تصحیح رادیومتری تصویر لندست شاخص پوشش گیاهی توسط رابطه (۲) محاسبه گردید.

1- Top of Atmosphere (TOA)

2- U.S. Geological Survey (USGS)
3- Dark Object Subtraction (DOS)
4- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hyper Cubes

$$\frac{\text{Band 4} - \text{Band 3}}{\text{Band 4} + \text{Band 3}} \quad (۲)$$

که در آن Band3 و Band4 به‌ترتیب باند ۳ و باند ۴ محدوده قرمز و فروسرخ می‌باشند. تصویر اولیه منطقه و تصویر تصحیح شده آن در شکل ۲ نشان داده شده است.



**شکل ۲**– تصویر اولیه منطقه (سمت چپ) و تصویر تصحیح شده (سمت راست) توسط ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۹۵/۰۳/۲۶ (نقطه سبز رنگ روی تصویر سمت راست منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد)

**Fig. 2**. The primery (left) and processed (right) image of Landsat 8 in 15.06.2016

**مدل‌سازی رگرسیونی**

تحلیل داده‌ها با روش‌های مختلف رگرسیونی مولفه اصلی [۱] و بردار پشتیبان [۲] انجام شد. PCR رگرسیون چند متغیره کاهش ابعاد داده، با استفاده از حداقل تعداد بردار عمود بر هم می‌باشد. این روش ترکیبی از آنالیز مولفه اصلی (PCA) و رگرسیون غیرخطی (MLR) است. در مرحله PCA به‌منظور حذف نویز، بردار ویژه ورودی‌ها که معرف پراکندگی داده‌ها است محاسبه می‌شود و در نهایت متغیر پاسخ (خروجی) بر اساس روش حداقل مربعات خطا تخمین زده می‌شود. هنگامی که در متغیرهای ورودی همبستگی مشاهده می‌شود روش PCR نسبت به PLS ارجحیت دارد زیرا به علت تعامد بردارهای ویژه اثر همبستگی حذف و مدل MLR پایدارتر خواهد بود. از آنجا که معمولا بین داده‌های سینوپتیک وابستگی وجود دارد مدل PCR قابل اعتماد بود. در سال‌های اخیر یکی از تکنیک‌های جدید داده کاوی با نام رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) کاربرد موفقیت‌آمیزی در مسائل پیش‌بینی سری‌های زمانی داشته است (Durbha *et al*., 2007; Gavier-Pizarro *et al*., 2012). در رگرسیون بردار پشتیبان تعداد داده بر روی نتایج آزمون تأثیری نخواهد داشت (Brereton and Lloyd, 2010) و از آنجا که بررسی دوره رشد سیب‌زمینی مارفونا در زمان کوتاه برگدهی (چهار ماه) آن صورت گرفته نتایج SVR توجیه‌پذیر بود. انتخاب هسته‌های [۳] مناسب برای ماشین‌بردار پشتیبان، منجر به برتری آن نسبت به سایر رویکردهای مبتنی بر تصمیم‌گیری خطی شده است. در توسعه این مدل، حالت ε-SVR با هسته پایه شعاعی [۴] استفاده شد. اعتبارسنجی متقاطع یگانه [۵] و خطای حداقل مربعات [۶] به‌ترتیب برای ارزیابی دقت و خطای مدل‌های رگرسیون به‌کار رفت. آنالیزها در نرم‌افزار Matlab 2011 انجام گردید.

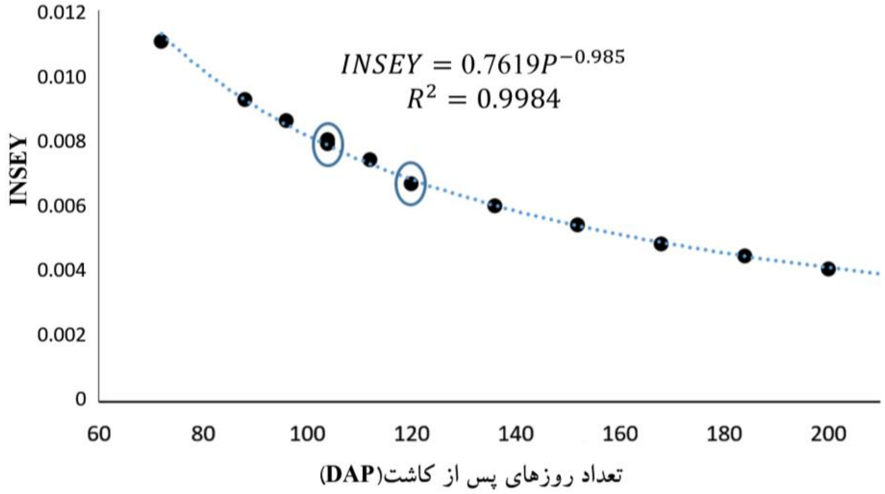
## نتایج و بحث

مقایسه دو سیستم مورد مطالعه ماهواره لندست ۸ و سبزینه‌سنج برای پایش NDVI به‌طور مستقیم جواب‌های نزدیکی ارائه نمی‌دهد لذا از برآورد عملکرد فصلی [۷] استفاده شد (Sharma *et al*., 2015). با تقسیم عدد NDVI بر تعداد روزهای پس از کاشت [۸]، مقدار بیومس بازای روزها تخمین زده می‌شود. شاخص INSEY مناسب پیش‌بینی عملکرد بالقوه محصول می‌باشد. منظور از عملکرد بالقوه برآورد بهینه محصول می‌باشد وقتی دیگر نیازی به افزودن کود ازت نباشد. شکل ۳ مقدار محاسبه شده INSEY را توسط GS در روزهای پس از

---

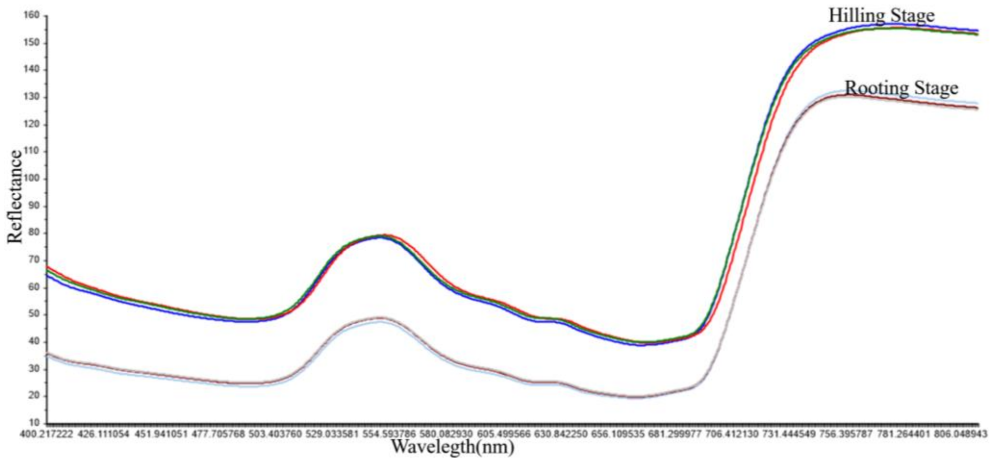
1- Principal Componenet Regression (PCR)
2- Support Vector Regression (SVR)
3- Kernels
4- Radial Basic Function (RBF)
5- LOOCV
6- RMSE
7- In-Season Estimation of Yield (INSEY)
8- Day After Planting (DAP)

کاشت نشان می‌دهد. دو نقطه‌ای که در شکل مرزبندی شده‌اند زمـان اندازه‌گیری توسط OLI را نیز نشان می‌دهند.




**شکل ۳**- مقدار محاسبه شده INSEY در روزهای پس از کاشت

**Fig. 3.** Calculated INSEY versus days after planting (DAP)




**شکل ٤**- طیف برگ سیب‌زمینی مارفونا در زمان ریشه‌دهی و حجیم شدن غده

**Fig. 4.** Spectra of Marfona potato in rooting and hilling stages

**جدول ٤**- ارزیابی دقت و خطای مدل رگرسیونی NDVI-GS

**Table 4**- Evaluation accuracy and error of NDVI-GS regression model

| داده‌های ورودی Input data | مدل‌های رگرسیونی Regression models | کالیبراسیون Calibration | | اعتبارسنجی Validation | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $R^2$ | RMSEc | $R^2$ | RMSEp |
| داده‌های هواشناسی | PCR | 0.991 | 0.013 | 0.703 | 0.107 |
| | SVR | 0.964 | 0.064 | 0.621 | 0.151 |
| INSEY | MLR | 0.911 | 0.014 | 0.911 | 0.010 |
| | SVR | 0.947 | 0.041 | 0.994 | 0.181 |

با گذشت زمان میزان INSEY با تـابع تـوانی کـاهش مـی‌یابـد. محاسبه INSEY بر حسب NDVI طیف قرمز و لبه قرمز[1] نیز توابـع مشـابهی را در طـی دوره رشـد ذرت نشـان داد (Sharma *et al.*, 2015). با توجه به NDVI قرائت شده از GS، در زمان خاکدهی پای بوته (رشد اولیه غده ها) و حجیم شده غده‌ها همزمان با بارندگی و یـا آبیاری، کود اوره با غلظت ۳۲٪ و ۱۶٪ ازت در سطح مزرعه به‌صورت

1- Red-Edge

محلول در ۱۰۰۰ لیتر آب پاشش شد. همچنین کاربرد GS و به‌دست آوردن NDVI گندم (Samborski *et al*., 2016) و ذرت (Roberts *et al*., 2009) در دوره رشد به مدیریت نیتروژن مورد نیاز گیاه کمک بسیاری نمود. نتایج این تحقیق استفاده از نسل جدید ماهواره‌ها را در کشاورزی دقیق توجیه می‌کند. مقایسه NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره‌های مختلف، دقت لندست ۸ را پس از تصحیحات تأیید نمود (Ke *et al*., 2015). به‌منظور کاهش تعداد داده، متوسط آن در هر ۱۰۰۰ متر مربع محاسبه گردید و مطابق جدول ۲ در هر تاریخ ۳۰ داده به‌دست آمد.

**جدول ۵**- ارزیابی دقت و خطای مدل رگرسیونی NDVI-OLI

**Table 5**- Evaluation accuracy and error of NDVI-OLI regression model

| داده‌های ورودی Input data | مدل‌های رگرسیونی Regression Models | کالیبراسیون Calibration | | اعتبارسنجی Validation | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $R^2$ | RMSEc | $R^2$ | RMSEp |
| داده‌های هواشناسی | PCR | 0.991 | 0.003 | 0.788 | 0.109 |
| | SVR | 0.997 | 0.023 | 0.610 | 0.195 |
| INSEY | MLR | 0.965 | 0.009 | 0.965 | 0.006 |
| | SVR | 0.947 | 0.042 | 0.994 | 0.182 |

**جدول ٦**- مدل رگرسیونی بردار پشتیبان GS و OLI با داده‌های طیف‌سنجی

**Table 6**- SVR model of NDVI and spectroscopic data

| مراحل رشد Growing stage | NDVI-GS | | NDVI-OLI | |
|---|---|---|---|---|
| | $R^2$ | RMSE | $R^2$ | RMSE |
| Rooting | 0.93 | 0.11 | 0.79 | 0.32 |
| Hilling | 0.94 | 0.09 | 0.80 | 0.32 |
| Posthilling | 0.95 | 0.08 | 0.83 | 0.37 |

از رگرسیون خطی اجزای اصلی[1] و رگرسیون بردار پشتیبان[2] با مقدار اپسیلون ۰/۲۵ (ε=0.25) برای استخراج روابط NDVI-GS[3] و NDVI-OLI[4] استفاده شد و ضریب تبیین برای هر سری داده ورودی، تخمین زده شد که در جدول ۴ و ۵ نتایج خلاصه گردید. کالیبراسیون و اعتبارسنجی به‌ترتیب توسط داده‌ها در تاریخ‌های مذکور در جدول ۲ و سه تاریخ متوالی آن (2017.06.24, 2017.06.30 and 2017.07.07) صورت گرفت. همانطور که مشاهده می‌شود برای پیش‌بینی INSEY از روش MLR استفاده شده است زیرا روش PCR بر روی داده‌های حجیم جواب می‌دهد و زمانی‌که متغیر و پاسخ یک به یک هستند مدل قابل اعتمادی را پیش‌بینی نکرد، اما SVR در پیش‌بینی INSEY موفق عمل نمود. تصویر تصحیح شده مزرعه سیب‌زمینی برای استخراج NDVI (رابطه ۲) به‌کار رفت (شکل ۲ و جدول ۴). علاوه بر کاربرد ماهواره لندست ۸، طیف‌سنجی برگ‌های شاه‌پسند در محاسبه NDVI و میزان کلروفیل موفق عمل نموده است (Pastor-Guzman *et al*., 2015). همچنین با طیف‌سنجی در بازه طیفی ۳۰۰-۱۱۰۰ nm طول موج ۶۲۰-۶۸۰ nm در باند قرمز و ۷۷۰-۸۶۰ nm در فروسرخ را ثبت و NDVI معادل حسگر GS و OLI محاسبه گردید. به این ترتیب صحت اندازه‌گیری NDVI توسط سبزینه‌سنج و ماهواره لندست تأیید گردید (جدول ۶). به‌طور متوسط طیف‌سنجی دقت بیشتری در پیش‌بینی NDVI-GS ($R^2$=0.94) نسبت به NDVI-OLI ($R^2$=0.81) نشان می‌دهد. طیف برگ سیب‌زمینی مارفونا در زمان ریشه‌دهی و حجیم شدن غده در شکل ۴ آمده است. همانطور که دیده می‌شود شکل طیف در هر دو یکسان است اما چگالی آن به‌خصوص در باند قرمز و فروسرخ نزدیک افزایشی است. واضح است که با تکمیل دوره رشد و افزایش تعداد برگ‌ها میزان NDVI افزایش می‌یابد در صورتی‌که گیاه ازت لازم را دریافت کرده باشد.

## نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه تأییدی بر کاربرد مفید فناوری GS به‌عنوان روشی سریع و دقیق برای پیش‌بینی NDVI می‌باشد. استفاده از روش‌های مختلف رگرسیونی نتایج مشابهی درپی داشت اما در این میان تکنیک SVR مناسب‌ترین جواب را ارائه داد. گرچه پیش‌بینی NDVI نیازمند تیمارهای مختلف کوددهی است اما از آنجا که مزرعه پژوهشی نبود کشاورز ریسک تغییر کیفیت محصول نهایی را متقبل نشد. از طرف دیگر همواره افزایش دوره بررسی در سال‌های متمادی

1- Principal Component Regression (PCR)
2- Support Vector Regression (SVR)
3- NDVI-GreenSeeker
4- NDVI- landsat8 OLI

کشت دقت مدل‌سازی را افزایش خواهد داد و می‌توان جدول راهنمای کوددهی مزرعه را استخراج نمود.

**سپاسگزاری**

نویسنده مقاله از همکـاری آقایـان احمـدی و سـپهر بـرای هماهنگی در یافتن مزرعه و همکاری در اندازه‌گیری‌ها قـدردانی می‌نماید.

## References

1. Brereton, R. G., and G. R. Lloyd. 2010. Support Vector Machines for classification and regression. Analyst Journal 135: 230-267.
2. Chavez, P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. Remote sensing of environment 24 (3): 459-479.
3. Cheret, V., and J. Denux. 2011. Analysis of MODIS NDVI time series to calculate indicators of Mediterranean forest fire susceptibility. GIScience and Remote Sensing 48: 171-194.
4. Deng, F., J. M. Chen, S. Plummer, M. Chen, and J. Pisek. 2006. Algorithm for global leaf area index retrieval using satellite imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 44 (8): 2219.
5. Durbha, S. S., R. L. King, and N. H. Younan. 2007. Support vector machines regression for retrieval of leaf area index from multiangle imaging spectroradiometer. Remote Sensing of Environment 107 (1-2): 348-361.
6. Feng, M., C. Huang, S. Channan, E. F. Vermote, J. G. Masek, and J. R. Townshend. 2012. Quality assessment of Landsat surface reflectance products using MODIS data. Computers & Geosciences 38 (1): 9-22.
7. Gavier-Pizarroa, G. I., T. Kuemmerle, L. E. Hoyos, S. I. Stewart, C. D. Huebner, N. S. Keuler, and V. C. Radelof. 2012. Monitoring the invasion of an exotic tree (Ligustrum lucidum) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM + satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina. Remote Sensing of Environment 122: 134-145.
8. Hadjimitsis, D. G., G. Papadavid, A. Agapiou, K. Themistocleous, M. G. Hadjimitsis, and A. Retalis. 2010. Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: Impact on vegetation indices. Natural Hazards and Earth System Sciences 10 (1): 89-95.
9. Hong, S. H., J. M. Hendrickx, and B. Borchers. 2009. Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30 m) to MODIS (250 m) scale. Hydrology 370 (1): 122-138.
10. Im, J., Z. Lu, J. Rhee, and L. J. Quackenbush. 2012. Impervious surface quantification using a synthesis of artificial immune networks and decision/regression trees from multisensor data. Remote Sensing of Environment 117: 102-113.
11. Ke, Y., J. Im, J. Lee, H. Gong, and Y. Ryu. 2015. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations, Remote Sensing of Environment 164: 298-313.
12. Kitchen, N. R., K. A. Sudduth, S. T. Drummond, P. C. Scharf, H. L. Palm, D. F. Roberts, and E. D. Vories. 2010. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. Agronomy 102: 71-84.
13. Li, P., L. Jiang, and Z. Feng. 2014. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) sensors. Remote Sensing 6: 310-329.
14. Maiersperger, T. K., P. L. Scaramuzza, L. Leigh, S. Shrestha, K. P. Gallo, and C. B. Jenkerson 2013. Characterizing LEDAPS surface reflectance products by comparisons with AERONET, field spectrometer, and MODIS data. Remote Sensing of Environment 136: 1-13.
15. Meng, Q., W. Cooke, and J. Rodgers. 2013. Derivation of 16-day time-series NDVI data for environmental studies using a data assimilation approach. GIScience and Remote Sensing 50: 500-514.
16. MohammadZamani, D., A. Taghavi, M. Gholami-parshokouhi, and J. Massah. 2014. Design, implementation and evaluation of a monitoring system of potato yield. Journal of Agricultural Machinery 4 (1): 50-56. (In Farsi).
17. Olfs, H. W. 2009. Improved precision of arable nitrogen applications: requirements, technologies and implementation. The International FertiliserSociety, Proceeding 662: 35.

18. Pastor-Guzman, J., P. M. Atkinson, J. Dash, and R. Rioja-Nieto. 2015. Spatotemporal Variation in Mangrove Chlorophyll Concentration Using Landsat 8. Remote Sensing 7: 14530-14558.
19. Raun, W. R., J. B. Solie, G. V. Johnson, M. L. Stone, R. W. Mullen, K. W. Freeman, W. E. Thomason, and E.V. Lukina. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cerealgrain production with optical sensing and variable rate application. Agronomy 94: 815-820.
20. Roberts, D. F., V. I. Adamchuk, J. F. Shanahan, R. B. Ferguson, and J. S. Schepers. 2009. Optimization of crop canopy sensor placement for measuring nitrogen statusin corn. Agronomy 101: 140-149.
21. Rostami, M. A., M. H. Raofat, A. Jafari, M. Loghavi, M. Kasraee, and M. J. Nazem-Alsadat. 2014. Monitoring of protection tillage and intensity of tillage using satellite and terrestrial images. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 255-265. (In Farsi).
22. Samborski, M., D. Gozdowski, M. Stepie´na, O. S. Walshc, and E. Leszczy´nska. 2016. On-farm evaluation of an active optical sensor performance forvariable nitrogen application in winter wheatStanisław. Agronomy 74: 56-67.
23. Schepers, J. S., and J. F. Shanahan. 2009. Managing nitrogen with active sensors. 13th Annual Symposium on Precision Agriculture in Australia.
24. Sharma, L. K., H. Bu, A. Denton, and D. W. Franzen. 2015. Active-Optical Sensors Using Red NDVI Compared to Red Edge NDVI for Prediction of Corn Grain Yield in North Dakota USA. Sensors 15: 27832-27853.
25. Stark, J. C., and B. D. Brown. 2003. Nutrient Management. In L.D. Robertson and J.C. Stark (Eds) Idaho Spring Barley Production Guide. pp. 22-26.
26. Teillet, P., and X. Ren. 2008. Spectral band difference effects on vegetation infices derived from multiple satellite sensor data. Canadian Journal of Remote Sensing 34: 159-173.
27. Tremblay, N., E. Fallon, and N. Ziadi. 2011. Sensing of crop nitrogen status: Opportunities, tools, limitations, and supporting information requirements. Horticulture Technology 21: 274-281.
28. Yuan, F., C. Wang, and M. Mitchell. 2014. Spatial patterns of land surface phenology relative to monthly climate variations: US Great Plains. GIScience and Remote Sensing 51: 30-50.

**Journal of Agricultural Machinery**
**Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 321-331**

**نشریه ماشین‌های کشاورزی**
**جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۳۳۱-۳۲۱**

# Comparison of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of Potato from Greenseeker and Landsat Satellite

**H. Mohamadi Monavar[1*]**

Received: 17-05-2017
Accepted: 04-09-2017

## Introduction

Field management is a part of precision agriculture (PA) which has positive environmental and economic effects on quality of plant productions. Nitrogen needs of plant, depends on climate conditions and growing pattern. The optimum of nitrogen fertilizer is varied from fields to fields. Nitrogen management causes uniform shape and size of potatoes, on the other hand decreases the inward and outward damages (Stark and Brown, 2003). Between different herbal indices, NDVI is the most common for monitoring greenness of plants. NDVI was calculated from reflectance in red and NIR bands (equation 1). Greenseeker (GS) is a suitable optical sensor because it is not affected by light and temperature variation or wind intensity.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \qquad (1)$$

In addition to GS, satellite image was used to evaluate the NDVI of studied potato field. Landsat 8 is the last satellite of this family with new sensors (operational land imager (OLI) and thermal infrared sensor (TIRs)) and additional spectral bands (deep blue invisible (430-450 nm) and shortwave infrared (1360-1390 nm). At the end, support vector regression (SVR) and principal component regression (PCR) or multi-linear regression (MLR) was applied to estimate RMSE and $R^2$. The input of models was synoptic data, and NDVI extracted from GS or OLI.

## Materials and Methods

The study was performed on marfona cultivar of potato field which located in Bahar city, Hamadan. The potato was planted early March and experiments were started after growing the first leaves. The soil texture in the experimented field was sandy loam soil to 75 cm depth. The territory (the southwest corner of the field) was fertigated by poultry manure with content 4.5% of N in order to put shortage of nitrogen down. Metrology station of Bahar city reported the maximum, minimum and average temperature, relative humidity, precipitation and wind velocity which were effective on NDVI variation. The GS was put at a height of 60 cm above the plant and the average of NDVI was obtained by three times measurement. This sensor has red and NIR diodes which reflect and absorb the spectra in 660±15nm and 770±15nm regions, respectively. GS and OLI were applied for measurement every 8 and 16 days, respectively. Satellite images were analyzed two times (30cm height of plant and hilling stage) during the growing. Although, climate changing were effective on NDVI then some image corrections were necessary. Geometric and atmospheric corrections were applied for removing the absorption and distribution error with dark object subtraction and FLAASH algorithm in ENVI 5.3 Software. In addition, GS is a nondestructive and contactless optic sensor which helps farmers to manage nitrogen because using laboratory method is not easy way for them. As well as, OLI provided accurate NDVI which support the accuracy of GS.

## Results and Discussion

In order to correlate NDVI-GS and NDVI-OLI, the third parameter (INSEY) was explained. In season estimation of yield (INSEY) was estimated by dividing NDVI by days after planting (DAP). INSEY index is suitable to predict product potential performance. PCR and SVR methods in Matlab 2011b was used to calculated the relationship of INSEY and NDVI. Also, Red and NIR bands extracted from spectrometer (AvaSpec-ULS 2048- UV-VIS) in the 300-1100 nm region were used in order to support comparison of those sensors. Results showed that the reflectance spectra changed through the growing stage, which is logic because the size and number of leaves were increased and as a result the greenness was enhanced. NDVI calculated with spectra showed more accurate $R^2$ for NDVI-GS (0.94) than NDVI-OLI (0.81). In addition, correlation coefficients of the SVR model between INSEY and NDVI were predicted 0.947 and 0.947 for the GS and OLI,

1- Assistant Professor, Mechanics of Biosystem Engineering, Agriculture Department, Buali Sina University
(*- Corresponding Author Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

respectively.

**Conclusions**

The result of the study confirmed the useful Greanseeker as an accurate and fast technology for prediction of NDVI. Among different regression methods, SVR showed the perfect results. Since the farm is a commercial one and not belong to the university, it would not possible to test different nitrogen fertilizer treatments. It is obvious that evaluation of field in different consecutive years helps us to codify manual fertilization.

**Keywords**: Greenseeker, Normalized difference vegetation index, Sattelite images